

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

ГТАМР 34.35.25

ӨОЖ: 621.7

И.Е. Волокитина, Г.М. Жуманазарова

*Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан
(E-mail: i.volokitina@tntu.edu.kz, gl.zhumanazarova@tntu.edu.kz)*

Тот баспайтын сымды тарту кезінде криогендік салқындатуды қолдану

Жоғары өнімділік және механикалық қасиеттері бар сым өндірісінде жоғары жалпы қысу дәрежелерін пайдалану ұтымсыз, өйткені суық пластикалық деформация сымның диаметрін төмендетеді, ал ыстық деформация кезінде сымның бастапқы диаметрінің шектеулері болады. Сондықтан сымды термомеханикалық өңдеу шығындарды азайтуға және өнімнің сапасын жақсартуға үлкен әлеуетке ие. Мақалада тот баспайтын сымды термомеханикалық өңдеу технологиясы әзірленген, ол аустениттік құрылымды алу үшін алдын ала термиялық өңдеуден және кейіннен криогендік салқындатумен дәстүрлі тарту дан тұрады. Мұндай өңдеу нәтижесінде аустенит пен α – мартенсит қоспасынан тұратын ультра ұсақ түйіршікті құрылым және жоғары беріктік пен пластикалық қасиеттер алынады. Криогендік салқындатуды қолдана отырып тарту кезінде орташа дән мөлшері 1 мкм болатын құрылым алынады, ал бөлме температурасында 2 мкм микроқұрылым алынады.

Түйін сөздер: тарту, сым, тот баспайтын болат, термомеханикалық өңдеу, микроқұрылым, механикалық қасиеттер.

Kipicne

Қазіргі уақытта ұзын өлшемді жартылай фабрикаттарды алудың инновациялық технологияларын жетілдірудің ең перспективті бағыттарының бірі біріктірілген технологиялар болып табылады [1-2]. Мұндай технологиялар өндіріс тиімділігін жақсартуға мүмкіндік беретін жаңа процестердің дамуына, сондай-ақ өнімділігі төмен операциялар санының азаюы нәтижесінде еңбек өнімділігін едәуір арттыруға ықпал етеді. Сондай-ақ, инновациялық заманауи технологиялардың үйлесуі өндіріс орындарының қысқаруына ықпал етеді. Соңғы бірнеше жылда ғалымдардың қызығушылығы жоғары беріктік қасиеттеріне байланысты ультра ұсақ түйіршікті және наноқұрылымдармен сипатталатын материалдарға тартылды. Бірақ, әдетте, дәндердің беткі шекараларының көлемдік үлесінің жинақталуынан алынған беріктіктің едәуір артуы пластикалық қасиеттердің параллель төмендеуіне әкеледі. Нәтижесінде мұндай металдарды қолдану саласы айтарлықтай төмендейді. Бүгінгі материалдарға қойылатын үнемі өсіп келе жатқан талаптар оларды өндіру технологиясын жетілдіруге итермелейді. Жоғары беріктік пен икемділіктің ұтымды үйлесімі арқылы мақсатқа жету керек. Жоғарыда айтылғандардың нәтижесінде термомеханикалық өңдеумен аустенитті хромоникельді болаттан жасалған сымның беріктігі мен пайдалану қасиеттерін арттыруға мүмкіндік беретін технологияны әзірлеу өзекті міндет болып табылады.

Сым әрқашан металл илемдеудің негізгі түрлерінің бірі болды, өйткені көлденең қимасы әртүрлі профильдерден жасалған, бірақ көбінесе дөңгелек. Қазіргі уақытта қазіргі заманғы өнеркәсіптің дамуымен металдар сұранысқа ие бола бастады. Қазіргі уақытта қазақстандық компаниялар қолданатын сым өндіру технологияларын ескірген деп атауға болады, өйткені олар жоғары энергия тұтыну және төмен өнімділік сияқты жағымсыз факторлармен сипатталады.

Аустениттік коррозияға төзімді болаттардың жыл сайынғы әлемдік өндірісі жылына шамамен 22 миллион тоннаны құрайды, бұл барлық коррозияға төзімді болаттардың әлемдік нарығының 80% құрайды [3]. Мұндай болаттардың басты артықшылығы-олардың жоғары өнімділігі: коррозияға төзімділігі, икемділігі және беріктігі. Сондықтан аустениттік коррозияға төзімді болаттар металлургияда, аспап жасауда, машина жасаудың әртүрлі салаларында және т. б. құрылымдық материал ретінде кеңінен қолданылады. Мұндай болаттардың маңызды қасиеті-қатайтылғаннан кейін

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

олар таза аустениттік құрылымға ие және пластикалық деформация кезінде γ - α түрленуіне ұшырайды. Мартенсит концентрациясы неғұрлым жоғары болса, деформация температурасы соғұрлым төмен болады және деформация дәрежесі соғұрлым жоғары болады. Әдетте, өте қарқынды деформациядан кейін де аустениттің бір бөлігі мартенситке айналмауы мүмкін [4, 5]. Сондықтан 12X18H10T болаттан жасалған сымды және оның жоғары беріктік қасиеттері бар аналогтарын өндіруде 90-92% деформация ұсынылады [6, 7]. Мұндай қысу кезінде де құрылымда мартенситтің тек 75% - ы түзіледі. Сонымен қатар, бұл пластикалық және беріктік қасиеттерінің ең жақсы үйлесімі болып шығады. Орташа және үлкен қималардың сымдарын деформациялау кезінде мұндай жоғары қысуды қолдану орынды емес, өйткені алынған сымның диаметрі әрқашан өз шектеулеріне ие. тартуды қолдану әрқашан мұндай сымның диаметрінің айтарлықтай төмендеуіне әкеледі.

Жақында сұйық азотты қолдану арқылы металдарды қысыммен өңдеу (МҚӨ) әдістерімен деформациялау кезінде криогендік салқындатуды қолдануға үлкен қызығушылық бар [8, 9]. Бұл жағдайда өңдеу қайта кристалданумен немесе динамикалық қайтарумен бірге жүрмейді. Бұл микроқұрылымды неғұрлым қарқынды ұнтақтауға мүмкіндік береді. Мұндай деформацияның тағы бір артықшылығы-дәстүрлі МҚӨ әдістерімен салыстырғанда аз деформация дәрежесінде беріктік қасиеттерінің көп жоғарылауы.

Құрылымдық компоненттерді ұнтақтау тұрғысынан мұндай өңдеудің тиімділігін растайтын криогендік деформациялар саласында жүргізілген зерттеулер [8, 9] бар. Сонымен, [8, 10] еңбектерінде криогендік деформациядан кейінгі бастапқы ірі түйіршікті мыс пен алюминийдің микроқұрылымы әдеттегі суық деформациядан кейінгі дәндердің айтарлықтай аз мөлшерімен ерекшеленетіні дәлелденді. Сондықтан криогендік салқындатуды сұйық азоттың көмегімен жолақтан шыққан кезде бірден қолдану ұсынылады, бұл материалдың беріктігі мен икемділігі арасында тиімді ымыраға келеді. Бұған дислокацияның қозғалғыштығының жоғарылауы және сонымен бірге олардың тығыздығының артуы арқылы қол жеткізуге болады. Мартенситтік айналу мартенситтік айнарудың басталу температурасынан төмен температурада жүргенде, бос энергияларда үлкен айырмашылық пайда болады, бұл тұрақты өсумен салыстырғанда дән мөлшерінің күрт төмендеуіне әкеледі.

Зерттеу материалы мен әдістемесі

Үлгілер ретінде 08X16H15M3 маркалы болаттан жасалған сым бастапқы осьтік аустениттік құрылымды алу үшін термиялық өңделген күйде пайдаланылды, өйткені аустениттік құрылым δ -ферритке қарағанда әлдеқайда күшті «тойтарылады», бұл қаттылықтың жоғарылауына байланысты деформацияға үлкен қарсылық көрсетеді. Бұл күй 1050°C температурада қатайту, осы температурада 30 минут ұстау және суда салқындату арқылы алынды.

Зертханалық эксперимент В-I / 550 м өнеркәсіптік жолақтау диірменінде жүргізілді. Деформация салыстыру үшін криогендік және бөлме температурасында үш рет өту арқылы жүзеге асырылды. Бөлме температурасында тот баспайтын сымды тарту стандартты әдіс бойынша жүзеге асырылды: сымның ұшы нүктелік станоктың көмегімен қайралып, талшық ұстағышқа орнатылған талшыққа орнатылды, содан кейін оны толтыру кенелерімен ұстап алды және барабанда сымның 3 бұрылысын тергеннен кейін тоқтады. Криогендік салқындатылған сымды тарту -бұл қондырғының бір сызығында жүзеге асырылатын кейінгі термиялық өңдеумен біріктірілген ҚМӨ процесі. Сымды байланыстыру процесі бөлме температурасында деформациялау кезіндегідей. Сымның үшкір ұшы талшыққа орнатылады, содан кейін ол криогендік салқындату жүзеге асырылатын бос камера-резервуар арқылы өтеді. Бұл камера-резервуар талшық ұстағыштың артындағы диірмен желісіне орнатылады. Сымның ұшы сүйреу диірменінің барабанына бекітіліп, барабанға оралады. Сүйреу диірмені деформацияның жұмыс жылдамдығына жеткенде, резервуар камерасы сұйық азотпен толтырылады. Резервуар камерасы азотты қайта өңдеу жүйесімен жабдықталған. Болатты тарту кезінде қысу 10-12% - дан аспауы керек, біріктірілген процесінің ерекшеліктерін ескере отырып, біз 5-7% - ға дейін төмендету туралы шешім қабылдаймыз, яғни бір өту үшін 6 мм-ден 5,6 мм-ге дейін, содан кейін екінші өту 5,6 мм-ден 5,3 мм-ге дейін және үшінші өту 5,3 мм-ден 5 мм-ге дейін. Сүйреу кезінде сым деформация ошағында қарқынды қызады, температура 120-150°C дейін артады, содан кейін тот баспайтын сым қарқынды салқындату камерасына түседі, онда оның криогендік салқындауы -196°C дейін жүреді.металлографиялық талдау Leica оптикалық микроскопында жүргізілді. Механикалық созылу сынақтары Instron 5882

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

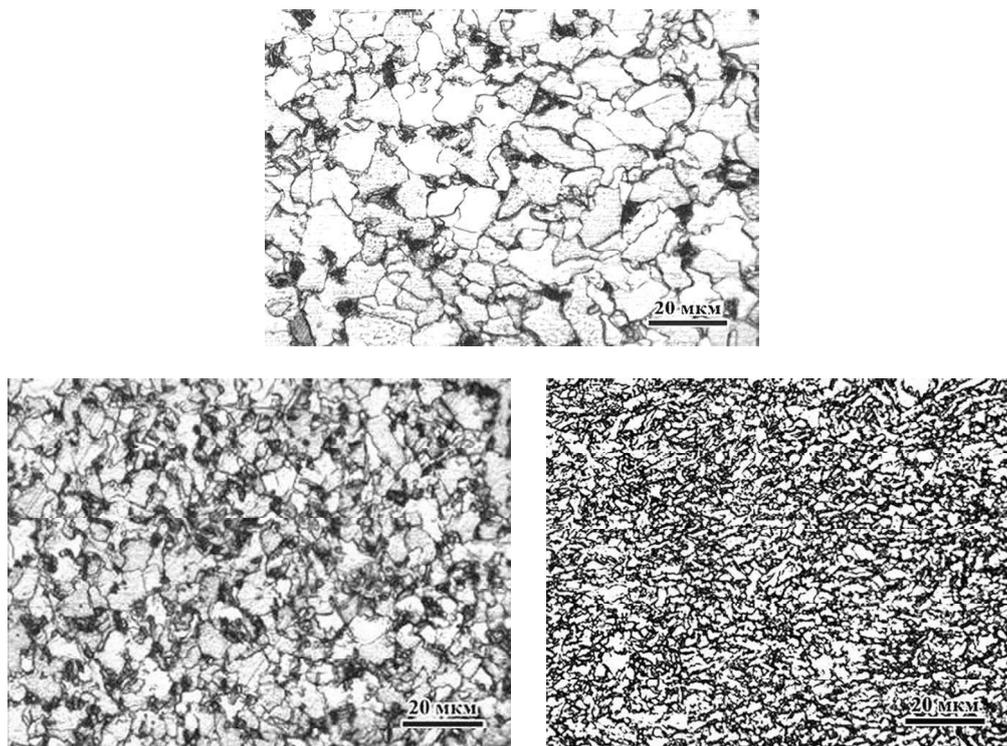
машинасында МЕМСТ 1497-84 ұсынымдары бойынша стандартты цилиндрлік үлгілерде бөлме температурасында жүргізілді.

Нәтижелер және оларды талқылау

08X16H15M3 тот баспайтын болаттан жасалған бастапқы микроқұрылым сүйреуге дейін полиэдрлі аустениттің ірі түйіршікті дәндерімен ұсынылған. Дәннің орташа мөлшері 20 мкм, құрылымында аздаған егіздер бар (а суретін қараңыз). Бөлме температурасында және криогендік салқындатуды қолданғаннан кейін алынған сымның микроқұрылымы б-в суретте көрсетілген.

Бөлме температурасында деформацияланған сымның микроқұрылымын талдау 3 деформация циклі текстуралы құрылымның пайда болуына әкелетінін көрсетті (в суреті). Деформация процесінде тот баспайтын сыммен алынған жоғары жалпы қысу нәтижесінде де барлық түйіршіктер бірдей ұсақталмайды және деформация бағытында айналады. Криогендік салқындатуды қолдана отырып тарту кезінде орташа дән мөлшері 1 мкм болатын құрылым алынады (в суреті), ал бөлме температурасында 2 мкм микроқұрылым алынады (в суреті). Екі температурада деформациядан кейін α – мартенсит пен аустенит қоспасынан тұратын микроқұрылым алынды.

Жүргізілген созылу сынақтары сымның бастапқы күйінде келесі сипаттамаларға ие екенін көрсетті: аққыштық шегі – 243 МПа және беріктік шегі – 605 МПа, салыстырмалы ұзарту – 55%. Криогендік температурада сүйреу бастапқы күймен салыстырғанда беріктік шегінің 1050 МПа дейін өсуіне әкеледі. Кірістілік шегі 920 МПа дейін артады. Иілгіштік мәні бастапқы күймен салыстырғанда 35% - ға дейін төмендейді. Бөлме температурасында деформацияланған үлгілерде келесі механикалық қасиеттер кешені алынды: беріктік шегі – 1010 МПа, аққыштық шегі-860 МПа. Иілгіштік мәні бастапқы күймен салыстырғанда 18% - ға дейін төмендейді.



а – бастапқы құрылым, б-бөлме температурасында тарту, в-криогендік температурада тарту.

Сурет 1 - 08X16H15M3 маркалы болаттың микроқұрылымы
Қорытынды

Тот баспайтын сымды термомеханикалық өңдеудің жаңа біріктірілген технологиясы әзірленді, оның айрықша ерекшелігі сымды жолақтан шыққаннан кейін криогендік салқындату болып табылады.

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

Зерттелетін сымның жоғары беріктігі, жақсы икемділігі және өнімділігі бұл сымды машина жасауда қолдануға мүмкіндік береді, өйткені мұндай сым дәстүрлі сызу процесімен салыстырғанда икемділіктің жоғарылауына ие, бұл оны аралық күйдірісіз үлкен деформациямен одан әрі өңдеуге мүмкіндік береді. Криогендік температурада деформацияланған сымның беріктігі мен пластикалық қасиеттерінің жоғарылауын мартенситтің жоғарылауымен түсіндіруге болады, ал деформацияланған мартенситтің қаттылығы аустенитке қарағанда жоғары.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Andreev V.A., Yusupov V.S., Perkas M.M., Prosvirnin V.V., Shelest A.E., Prokoshkin S.D., Khmelevskaya I.Yu., Korotitskii A.V., Bondareva S.A., Karelin R.D. Mechanical and Functional Properties of Commercial Alloy TN-1 Semiproducts Fabricated by Warm Rotary Forging and ECAP // Russian Metallurgy (Metally). – 2017. – Vol. 10. – Pp. 890-894.
- 2 Naizabekov A., Volokitina I., Volokitin A., Panin E. Structure and mechanical properties of steel in the process «pressing-drawing» // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2019. – Vol. 28. – Pp. 1762-1771.
- 3 Cunat, P.J. Aciers inoxydables: Propriétés, résistance à la corrosion / P.J. Cunat // Techniques de l'ingénieur. – 2000. – No. M 4541. – C. 1-16.
- 4 S.S. Kazemi, M. Homayounfard, M. Ganjiani, N. Soltani. Numerical and Experimental Analysis of Damage Evolution and Martensitic Transformation in AISI 304 Austenitic Stainless Steel at Cryogenic Temperature. Progress in Materials Science. 2019, Vol. 53, 9. Pp. 893-979.
- 5 M. Glatt, H. Hotz, P. Kölsch, A. Mukherjee, B. Kirsch, J.C. Aurich. Predicting the martensite content of metastable austenitic steels after cryogenic turning using machine learning. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2021, V. 115, 749-757.
- 6 Xu, W. Modelling and characterization of chi-phase grain boundary precipitation during aging of Fe-Cr-Ni-Mo stainless steel / W. Xu, D. S. Martin, P.E.J. Rivera D'iaz del Castillo, S. van der Zwaag // Materials Science and Engineering A. 2007. V. 467. Pp. 24-32.
- 7 Bidulský R., Bidulská J., Gobber F.S., Kvačák T., Petroušek P., Actis-Grande M., Weiss K-P., Manfredi D., Case Study of the Tensile Fracture Investigation of Additive Manufactured Austenitic Stainless Steels Treated at Cryogenic Conditions // Materials. – 2020. – Vol. 13. No. 3328.
- 8 Panigrahi S.K., Jayaganthan R., Pancholi V., Gupta M. A DSC study on the precipitation kinetics of cryorolled Al 6063 alloy // Materials Chemistry and Physics. – 2010. – No. 12. – Pp. 188-193.
- 9 Volokitina I., Siziakova E., Fediuk R., Kolesnikov A. Development of a Thermomechanical Treatment Mode for Stainless-Steel Rings // Materials. – 2022. – Vol. 15. – 4930.
- 10 Ramesh Kumar S., Kondaiyah Gudimetla, Tejaswi B., Ravisankar B. Effect of Microstructure and Mechanical Properties of Al-Mg Alloy Processed by ECAP at Room Temperature and Cryo Temperature // Transactions of the Indian Institute of Metals. – 2017. – Vol. 70. – Pp. 639-648.

И.Е. Волокитина, Г.М. Жуманазарова

Применение криогенного охлаждения при вытягивании нержавеющей проволоки

Использование высоких общих степеней сжатия при производстве проволоки с высокими эксплуатационными и механическими свойствами нецелесообразно, так как холодная пластическая деформация уменьшает диаметр проволоки, а при горячей деформации имеются ограничения начального диаметра проволоки. Поэтому термомеханическая обработка проволоки имеет большой потенциал для сокращения затрат и улучшения качества продукции. В статье разработана технология термомеханической обработки нержавеющей проволоки, которая состоит из предварительной термической обработки для получения аустенитной структуры и последующего традиционного вытягивания с криогенным охлаждением. В результате такой обработки получается ультрамелкозернистая структура, состоящая из смеси аустенита и α - мартенсита, обладающая высокой прочностью и пластичностью. При вытягивании с применением

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

криогенного охлаждения получается структура с средним размером зерна 1 мкм, а при комнатной температуре — с микроструктурой размером 2 мкм.

Ключевые слова: вытягивание, проволока, нержавеющая сталь, термомеханическая обработка, микроструктура, механические свойства.

I.E. Volokitin, G.M. Zhumanazarova

Application of Cryogenic Cooling in the Drawing of Stainless Steel Wire

The use of high general degrees of compression in the production of wire with high operational and mechanical properties is not advisable since cold plastic deformation reduces the diameter of the wire, and hot deformation has limitations on the initial diameter of the wire. Therefore, thermomechanical treatment of wire has great potential for reducing costs and improving product quality. The article develops a technology for the thermomechanical treatment of stainless steel wire, which consists of preliminary thermal treatment to obtain an austenitic structure and subsequent traditional drawing with cryogenic cooling. As a result of such treatment, an ultrafine-grained structure is obtained, consisting of a mixture of austenite and α -martensite, possessing high strength and ductility. Drawing with cryogenic cooling results in a structure with an average grain size of 1 μm , while at room temperature, it has a microstructure size of 2 μm .

Keywords: drawing, wire, stainless steel, thermomechanical treatment, microstructure, mechanical properties.

References

- 1 Andreev V.A., Yusupov V.S., Perkas M.M., Prosvirnin V.V., Shelest A.E., Prokoshkin S.D., Khmelevskaya I.Yu., Korotitskii A.V., Bondareva S.A., Karelin R.D. Mechanical and Functional Properties of Commercial Alloy TN-1 Semiproducts Fabricated by Warm Rotary Forging and ECAP // Russian Metallurgy (Metally).—2017.— Vol. 10. — Pp. 890-894.
- 2 Naizabekov A., Volokitina I., Volokitin A., Panin E. Structure and mechanical properties of steel in the process «pressing-drawing» // Journal of Materials Engineering and Performance. — 2019. — Vol. 28. — Pp. 1762-1771.
- 3 Cunat, P.J. Aciers inoxydables: Propriétés, résistance à la corrosion / P.J. Cunat // Techniques de l'ingénieur.—2000. — No. M 4541. — C. 1-16.
- 4 S.S. Kazemi, M. Homayounfard, M. Ganjjani, N. Soltani. Numerical and Experimental Analysis of Damage Evolution and Martensitic Transformation in AISI 304 Austenitic Stainless Steel at Cryogenic Temperature. Progress in Materials Science. 2019, Vol. 53, 9. Pp. 893-979.
- 5 M. Glatt, H. Hotz, P. Kölsch, A. Mukherjee, B. Kirsch, J.C. Aurich. Predicting the martensite content of metastable austenitic steels after cryogenic turning using machine learning. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2021, V. 115, 749-757.
- 6 Xu, W. Modelling and characterization of chi-phase grain boundary precipitation during aging of Fe-Cr-Ni-Mo stainless steel / W. Xu, D. S. Martin, P.E.J. Rivera D'iaz del Castillo, S. van der Zwaag // Materials Science and Engineering A. 2007. V. 467. Pp. 24-32.
- 7 Bidulský R., Bidulská J., Gobber F.S., Kvačkaj T., Petroušek P., Actis-Grande M., Weiss K-P., Manfredi D., Case Study of the Tensile Fracture Investigation of Additive Manufactured Austenitic Stainless Steels Treated at Cryogenic Conditions // Materials.—2020. — Vol. 13. No. 3328.
- 8 Panigrahi S.K., Jayaganthan R., Pancholi V., Gupta M. A DSC study on the precipitation kinetics of cryorolled Al 6063 alloy // Materials Chemistry and Physics.— 2010. — No. 12. — Pp. 188-193.
- 9 Volokitina I., Siziakova E., Fediuk R., Kolesnikov A. Development of a Thermomechanical Treatment Mode for Stainless-Steel Rings // Materials. — 2022. — Vol. 15. — 4930.
- 10 Ramesh Kumar S., Kondaiah Gudimetla, Tejaswi B., Ravisankar B. Effect of Microstructure and Mechanical Properties of Al-Mg Alloy Processed by ECAP at Room Temperature and Cryo Temperature // Transactions of the Indian Institute of Metals. — 2017. — Vol. 70. — Pp. 639-648.